

BEAMFORMING CIRCUITS FOR L-BAND ANTENNA

Ladislav Kalina

Master Degree Programme (2), FEEC BUT.

E-mail: xkalin08@stud.feec.vutbr.cz.

Supervised by: Libor Slezák.

E-mail: l.slezak@era.aero.

Abstract: This project describes the design of beamforming circuits for L-band antenna. The first part contains designed concept of a phase shifter. Other part consists block scheme of the phase shifter with real components and description of their basic functions. The next part implies theoretical calculation of possible settings. Last part includes realization of phase shifter and automatical measurement of circuit.

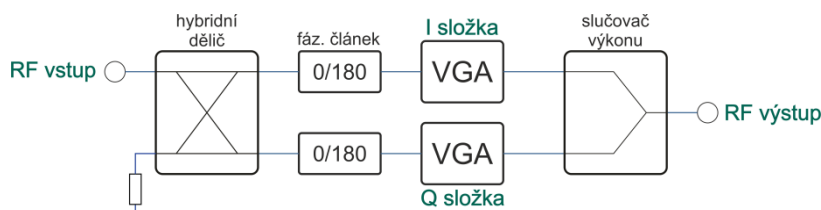
Keywords: L - band, Beamforming, VGA, I2C, SPI, BGA7204.

1. ÚVOD

Cílem práce bylo vytvořit obvody určené k tvarování svazků (dále jen OTS) anténního pole o 8 prvcích. Tyto obvody budou umístěny v přijímači za vstupními nízkošumovými zesilovači. Vstupními parametry pro návrh byly: frekvence 1350 až 1400 MHz, 8 vstupů (anténní elementy) a 8 výstupů (výsledné syntetizované svazky). Dalším požadavkem bylo řízení pomocí mikrokontroléru STM32F405 a kompletní řízení z PC aplikace, včetně vytvoření obou ovládacích programů.

2. NÁVRH KONCEPTU OTS

Pro možné řízení svazku antény, respektive anténního pole, je nutné procházející signál podrobit operacím slučování, zesilování, změny fáze signálu, včetně operacím jím inverzních. Tato kapitola se zaměří zejména na změnu amplitudy a fáze signálu. Tyto dvě operace je možné řešit pomocí fázovacího článku a proměnného atenuátoru, kde zpravidla oba tyto parametry řídíme digitálně. Tento způsob řízení je jednoduchý a nabízí možnost měnit oba parametry nezávisle na sobě. Nevýhodou je poměrně omezená nabídka fázovacích článků a jejich vysoká cena. Tento problém řeší následující metoda řízení fáze a amplitudy signálu porovnáváním dvou fázově posunutých signálů (viz obrázek 1).

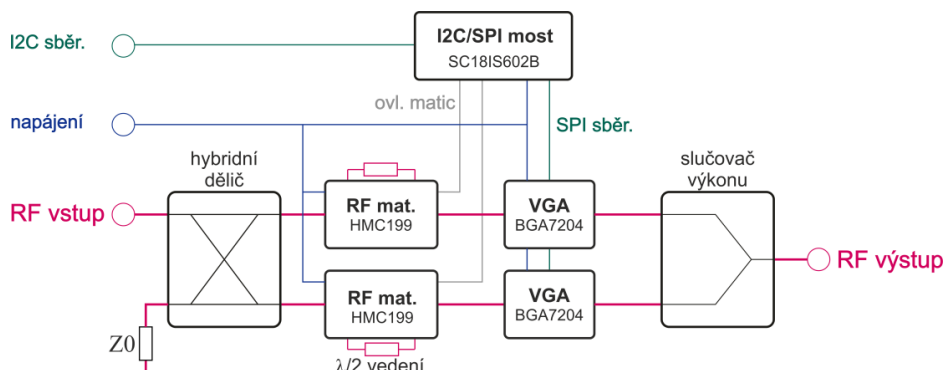


Obrázek 1: Blokové schéma IQ fázovacího článku.

V první části je signál rozdělen (stejným poměrem) hybridním děličem, čímž dojde k získání I a Q složek. Dalším stupněm je případná úprava fáze signálu o $\lambda/2$. Tato operace je nezbytná pro možnou změnu fáze v celém rozsahu 360-ti stupňů. V signálové cestě následuje proměnný zesilovač a výstupní slučovač výkonu, kde dochází ke zpětnému sečtení I a Q signálů. V každé signálové cestě je možné díky proměnnému zesilovači nastavit různé zesílení a tím docílit požadované změny fáze a výsledné amplitudy signálu.

3. REÁLNÉ ZAPOJENÍ

Tento odstavec popisuje reálné zapojení konceptu popsaneho v předchozí kapitole.



Obrázek 2: Blokové schéma zapojení s konkrétními obvody.

Hybridní dělič a slučovač výkonu jsou zde, z důvodu dosažení minimální plochy DPS, realizováni pomocí integrovaných obvodů. Fázovací článek je zde řešen pomocí 2x2 RF matice HMC199 [1] umožňující buď přímé spojení (nulové zpoždění), nebo odbočení do $\lambda/2$ vedení, zajišťující fázový posun o 180 stupňů.

Proměnný zesilovač byl vybrán s vnitřním, šesti-bitovým digitálně nastavitelným attenuátorem, konkrétně typ BGA7204 od firmy NXP [2]. Zesilovač disponuje následujícími parametry: zesílení $G_p = 18,5$ dB, rozsah útlumu vnitřního attenuátoru $\alpha_{\text{range}} = 31,5$ dB, minimální krok attenuátoru $\alpha_{\text{step}} = 0,5$ dB. Attenuátor je možné řídit pomocí paralelní nebo SPI sběrnice. V tomto projektu byla využita komunikace po SPI sběrnici, umožňující získat z čipu informace o funkčnosti a teplotě čipu.

I2C/SPI most zajišťuje spojení dvou odlišných komunikací. Konkrétně SPI sběrnici, po které dokáže VGA komunikovat a řídící I2C sběrnici, která je napojena v režimu SLAVE na řídící mikrokontrolér. Most navíc disponuje i GPIO piny, kterými jsou řízeny RF matice.

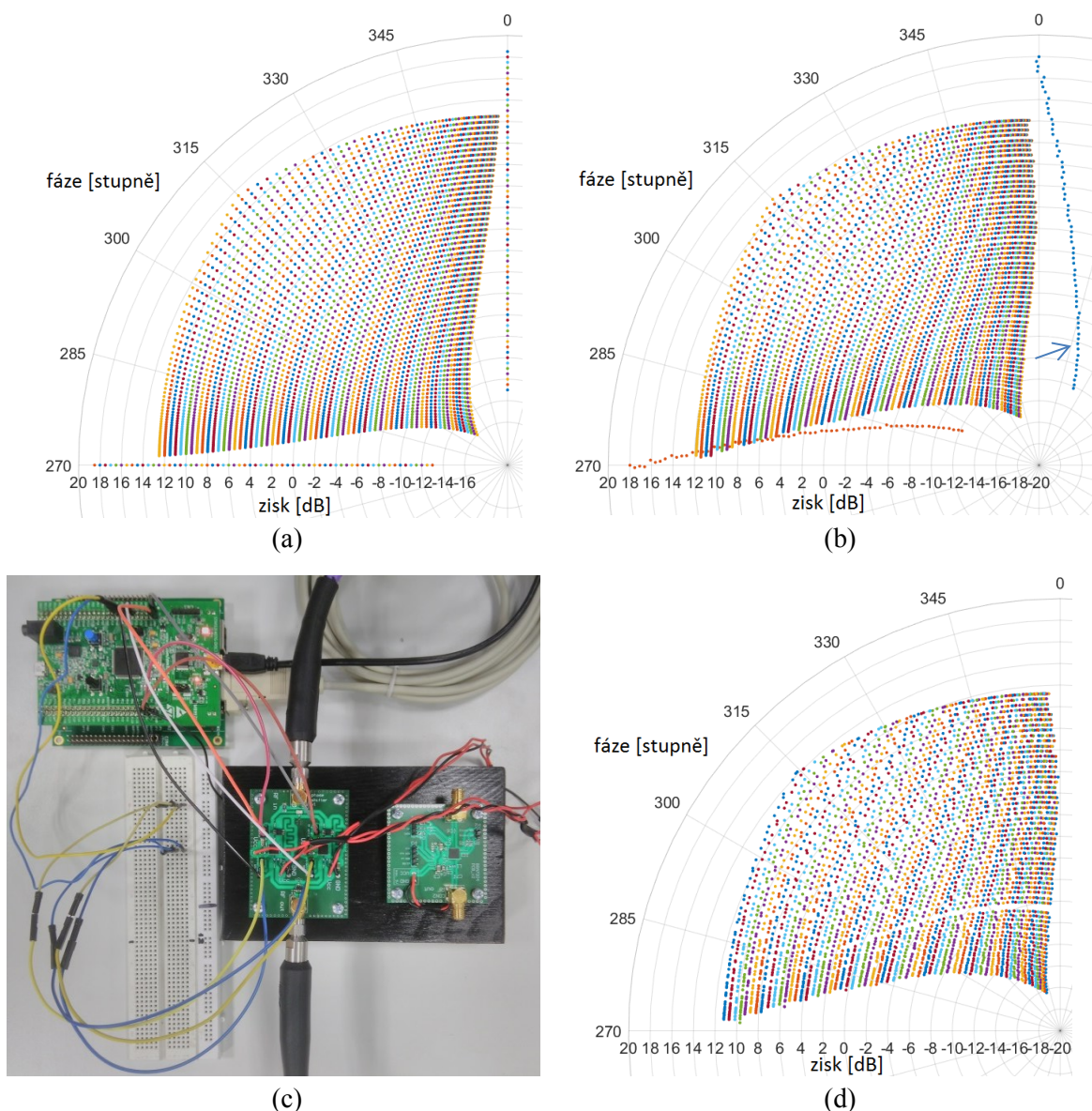
4. TEORETICKÝ A ZPŘESNĚNÝ VÝPOČET

Na obrázku 3(a) se nachází grafický výsledek teoretického výpočtu dosažitelných kombinací fáze a amplitudy signálu vzhledem k parametrům použitého proměnného zesilovače. Na obrázku 3(b) je zpřesněný výpočet kombinací fáze a amplitudy výsledného signálu. Tento výpočet vznikl po změně BGA7204 a získání jeho S parametrů. Z S parametrů proměnného zesilovače bylo patrné, že zesilovač mění svoji fázi v závislosti na nastaveném zesílení, jak ukazuje obrázek 3(b) (průběh označený modrou šipkou).

5. REALIZACE, MĚŘENÍ

Na obrázku 3(c) se nachází fotografie pořízená během měření. Měření probíhalo automatizovaně. Celý proces byl řízen pomocí softwaru MatLab, který přes ethernetový port předával VISA příkazy vektorovému analyzátoru R&S ZVL6. Současně přes sériovou linku posílal příkazy (adresu, data) mikrokontroléru STM32F405. Mikrokontrolér příkazy zpracoval a přes SPI sběrnici řídil nastavení požadovaného zisku jednotlivých zesilovačů. Tento proces proběhl celkem 4096-krát (64 pozic každého čipu). Měření jednoho rozsahu (v tomto případě 270 – 360 stupňů) trvalo 2 hodiny.

Na obrázku 3(d) se nachází výsledky měření pro výše uvedený rozsah. Z těchto výsledků je patrný pokles zisku pro každou pozici. Pokles je způsoben průchodem přes další prvky jako dělič výkonu, RF matici a slučovač. Nastavení fáze lze s mírnou tolerancí označit za shodné. Případné odchylky fáze jsou způsobeny nepřesnostmi vnitřních attenuátorů proměnných zesilovačů a jejich kroku.



Obrázek 3: (a) Teoretický výpočet možných nastavení. (b) Zpřesnění teoretického výpočtu. (c) Zapojení IQ fázovacího článku při měření. (d) Výsledky měřeného IQ článku.

6. ZÁVĚR

V práci bylo dosaženo fázovacího článku založeného na porovnávání I a Q složek. Tento fázovací článek je levnější (v řádu jednotek) než běžný fázovací článek. Jeho hlavní výhodou je větší rozlišení ve fázi než běžný fázovací článek a podstatně větší počet možných kombinací. Nevýhodou je nerovnoměrný krok změny fáze závislé na zesílení a větší potřebná plocha na DPS.

Projekt bude dále pokračovat návrhem digitálního ovládání na spodní straně DPS.

REFERENCE

- [1] HMC199a. *Katalogový list* [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc199a.pdf>.
- [2] BGA7204. *Katalogový list* [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BGA7204.pdf.